تأثیر لجن فاضلاب بر رشد و برخی عناصر غذایی سه ژنوتیپ کینوا در یک خاک آهکی و شور

فاطمه افضلی‌نژاد[۱]، سمیه قاسمی[۱*]، سیدابراهیم سیفتی[۲] و شیما شهبازی منشادی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۵)

چکیده

امروزه استفاده از پسماندهای آلی به‌عنوان کود برای بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک رایج شده است. در این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر رشد و غلظت کلروفیل، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه کینوا، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت فاکتوریل با سه تکرار در یک خاک آهکی و با هدایت الکتریکی ۱۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر، انجام شد. تیمارها شامل سه ژنوتیپ کینوا (Q29, Titicaca, Red carina) و سه سطح لجن فاضلاب (صفر، ۲۰، ۴۰ تن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد، تأثیر نوع ژنوتیپ کینوا، سطوح مختلف لجن فاضلاب و اثر متقابل تیمارها بر وزن خشک ریشه، غلظت فسفر شاخساره و غلظت کلروفیل معنی‌دار بود. همچنین، لجن فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر طول شاخساره، وزن خشک شاخساره و غلظت نیتروژن شاخساره داشت. با افزایش سطح لجن فاضلاب، به‌طور میانگین طول ریشه ۴۴/۷ درصد، طول شاخساره ۴۸/۸ درصد، وزن خشک شاخساره ۴۲/۰ درصد و غلظت نیتروژن شاخساره ۴۶/۶ درصد افزایش یافت. همچنین، کاربرد ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب، باعث افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل و غلظت فسفر شاخساره ژنوتیپ‌های Titicaca و Q29 شد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند از طریق بهبود تغذیه کینوا، باعث افزایش رشد این گیاه شود.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، Red carina، Titicaca، Q29، عناصر پرمصرف

۱. گروه علوم خاک، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد
۲. گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s.ghasemi@yazd.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

از نظر اقلیمی بخش عمده مساحت ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. از ویژگی‌های این مناطق، کم و پراکنده بودن نزولات جوی و تبخیر زیاد است که سبب تجمع املاح در لایه‌های سطحی خاک می‌شود. به‌همین دلیل، شوری خاک‌های زراعی و آب آبیاری، از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی در اغلب مناطق ایران به‌شمار می‌روند (۱). از جمله راهکارهای مدیریتی برای استفاده بهینه از منابع آب و خاک شور می‌توان به توسعه گیاهان متحمل به شوری، اصلاح الگوی تناوب کشت و استفاده از کودهای آلی اشاره کرد (۱۰). کینوا (*Chenopodium quinoa,* Willd) یکی از گیاهان زراعی است که مقاومت زیادی در برابر طیف وسیعی از تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و سرما داشته (۱۵) و امروزه کشت آن در خاک‌های با حاصلخیزی کم و دارای محدودیت، مورد توجه قرار گرفته است. کینوا گیاهی یک ساله، دولپه با حدود ۹۳ درصد خودگشنی و بومی مناطق آمریکای جنوبی و ارتفاعات آند است (۲). فلاورز (۱۳) گزارش کرد کینوا بهترین گیاه برای کشت در خاک‌هایی است که شوری بالاتر از ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر دارند و این گیاه توانایی رشد و تولید محصول در شرایطی مشابه شوری آب دریا حتی تا ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر را دارد که این خود اهمیت مطالعه این گیاه شورزیست را نشان می‌دهد. تحقیقات انجام شده در ایران نیز نشان می‌دهد که کینوا در برخی مناطق ایران قابل کشت بوده (۷) و در آینده جایگاه مناسبی در زراعت خواهد داشت.

از سوی دیگر، با توجه به توصیه‌های وزارت جهاد کشاورزی مبنی بر مصرف کمتر کودهای شیمیایی برای پیشگیری از تخریب خاک و آلودگی محیط زیست، بررسی کاربرد پسماندهای آلی به‌عنوان کود با درنظر گرفتن استانداردهای زیست‌محیطی، در مورد اکثر محصولات کشاورزی حائز اهمیت است. لجن فاضلاب نوعی از پسماندهای آلی است که از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند pH، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین افزایش مواد آلی خاک، می‌تواند بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی توسط گیاهان مؤثر باشد (۴ و ۱۲). بسیاری از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که با افزودن لجن فاضلاب به خاک، pH خاک به‌دلیل تجزیه مواد آلی موجود در لجن فاضلاب و تولید اسیدکربنیک و اسیدهای آلی مانند اسیدسیتریک، اسیدمالیک و اسیدپروپیونیک کاهش می‌یابد. نتیجه کاهش pH خاک، افزایش حلالیت و قابلیت دسترسی برخی از عناصر در خاک است (۱۱). همچنین، لجن فاضلاب حاوی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، مس و روی برای رشد گیاه بوده و به‌همین دلیل به‌عنوان یک منبع ارزشمند برای رشد محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. آنجین و یاقان اقلو (۴) تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد جو را بررسی کرده و بیان داشتند که کاربرد لجن نه تنها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشید بلکه عملکرد دانه جو را نیز افزایش داد. همچنین سعادت و همکاران (۲۸) نیز با کاربرد لجن فاضلاب، افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک و عملکرد، غلظت نیتروژن و فسفر را در گیاه ذرت گزارش کردند.

در ایران، لجن فاضلاب بیشتر به‌دلیل ارزانی قیمت این فراورده، در کشت گیاهان دارای خام‌خوری به‌خصوص سبزیجات استفاده می‌شود (۹)، اما اطلاعات چندانی در ارتباط با امکان استفاده از لجن فاضلاب در کشت گیاه کینوا وجود ندارد. از آنجا که گیاه کینوا به‌دلیل کیفیت غذایی، تنوع ژنتیکی و سازگاری وسیع به شرایط خاک و اقلیم‌های مختلف و هزینه کم تولید، می‌تواند در کشورهای مختلف به گیاه استراتژیک تبدیل شود، بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر رشد و غلظت برخی عناصر پرمصرف در سه ژنوتیپ گیاه کینوا انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. برخی ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد آزمایش

ویژگی	واحد	مقدار	حد استاندارد لجن فاضلاب (۲۹)
pH	–	۶/۵۳	–
قابلیت هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۶/۹۴	–
کلیفرم گوارشی	MPN/g	۲۳/۰	کمتر از ۱۰۰۰
ماده آلی	(٪)	۴۷/۰	–
نیتروژن کل	(٪)	۴/۰۲	–
پتاسیم کل	(٪)	۰/۵۱	–
فسفر کل	(٪)	۳/۱۶	–
کادمیوم	$mg\ kg^{-1}$	۰/۴۱	۳۹
سرب	$mg\ kg^{-1}$	۳/۲۱	۳۰۰
نیکل	$mg\ kg^{-1}$	۵/۲۵	۴۲۰
مس	$mg\ kg^{-1}$	۴۳۷	۱۵۰۰
روی	$mg\ kg^{-1}$	۶۱۲	۲۸۰۰
آهن	$mg\ kg^{-1}$	۳۰۰۰	۱۷۰۰۰
منگنز	$mg\ kg^{-1}$	۲۱۲	۲۶۰
آرسنیک	$mg\ kg^{-1}$	N.D	۴۱
کروم	$mg\ kg^{-1}$	۴/۵۶	۱۲۰۰
جیوه	$mg\ kg^{-1}$	N.D	۱۷

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب شامل صفر، ۲۰ و ۴۰ تن بر هکتار بر رشد و تغذیه سه ژنوتیپ کینوا، آزمایشی گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد انجام شد. لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه شهر یزد تهیه شد و پس از هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های آن تعیین شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری pH و قابلیت هدایت الکتریکی لجن فاضلاب از عصاره ۱ به ۱۰ استفاده شد. غلظت کل فسفر به‌روش رنگ‌سنجی مولیبدووانادات با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Specord 210 در طول موج ۴۷۰ نانومتر و غلظت کل پتاسیم، بعد از انحلال در تیزاب توسط دستگاه شعله سنج مدل jenway PFP7 اندازه‌گیری شد. ماده آلی لجن فاضلاب نیز به‌روش اکسیداسیون تر در مجاورت بی‌کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ اندازه‌گیری شد. درصد نیتروژن کل با استفاده از دستگاه اتوکلتک مدل Behr distilliation unit S4 بر اساس روش کلدال تعیین شد. همچنین غلظت فلزات سنگین بعد از انحلال در تیزاب با دستگاه جذب اتمی مدلNovaa300 تعیین شد.

برای کشت گیاه، ابتدا سطوح مختلف لجن فاضلاب با وزن مشخصی از خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذکر شده در جدول ۲، مخلوط شد و به گلدان‌های پنج کیلوگرمی انتقال یافتند. سپس تعداد ۱۰ عدد بذر کینوا از ژنوتیپ‌های مختلف در هر گلدان کشت شد. در مطالعه حاضر ژنوتیپ‌های Q29 (با غلظت ساپونین ۵/۸ میلی‌گرم در گرم),Titicaca (با غلظت ساپونین ۳/۸ میلی‌گرم در گرم) و Red carina (با غلظت ساپونین ۴/۸ میلی‌گرم در گرم) که دارای مقادیر متفاوت ساپونین بودند، انتخاب شدند. براساس مطالعات یانگ و همکاران (۳۰)، محتوای ساپونین ژنوتیپ‌های کینوا بر میزان

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

کلاس بافت	EC	pH	کربنات کلسیم	کربن آلی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	آهن	منگنز	مس
	$dS\ m^{-1}$		٪			$mg\ kg^{-1}$				
لوم رسی- شنی	۱۳/۰۹	۸/۰۱	۱۲	۰/۱۸	۰/۰۴	۱۲۰	۲۰/۵۶	۲/۹۰	۱/۰۸	۱/۶۵

تحمل آنها به سطوح مختلف تنش، مؤثر است. برای هر تیمار سه تکرار درنظر گرفته شد. تعداد کل گلدان‌ها ۲۷ عدد بود. آبیاری تمام گلدان‌ها به‌طور یکسان و به فاصله ۷ روز یک‌بار و با حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر انجام گرفت.

پس از گذشت ۸ هفته از رشد گیاه و ابتدای مرحله گلدهی، ریشه و شاخساره به‌طور جداگانه برداشت شد و سپس پارامترهایی از قبیل طول ریشه و شاخساره، وزن خشک ریشه و شاخساره و غلظت کلروفیل، نیتروژن، پتاسیم و فسفر شاخساره اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل، ۰/۵ گرم برگ تازه گیاهی توسط استون ۸۰ درصد ساییده شده و پس از عبور از کاغذ صافی، با استون به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. سپس مقدار جذب عصاره حاصل در طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (۶).

برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن، مقدار ۰/۳ گرم نمونه‌های آسیاب شده به بالن هضم کلدال انتقال داده شده و پس از هضم در مجاورت کاتالیزور (سولفات مس، سولفات پتاسیم و سلنیوم) و اسیدسولفوریک غلیظ در دمای ۳۸۰ درجه سانتی گراد به‌مدت سه ساعت، غلظت نیتروژن توسط دستگاه اتوکلتک مدل Behr distilliation unit S4 اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری غلظت فسفر و پتاسیم، عصاره‌گیری نمونه‌های گیاهی به‌روش هضم خشک در مجاورت اسید کلریدریک ۲ نرمال انجام شد. سپس مقدار جذب عصاره حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پتاسیم شاخساره نیز با استفاده از دستگاه شعله سنج مدلjenway PFP7 تعیین شد (۱۸).

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل سه سطح لجن فاضلاب (صفر، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و سه رقم کینوا (Red carina ,Titicaca ,Q29) بودند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس دو طرفه توسط نرم‌افزار SPPS Statistucs 20 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به‌وسیله آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Excel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

طول ریشه

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر لجن فاضلاب بر طول ریشه در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود، اما نوع ژنوتیپ کینوا و اثر متقابل آن با سطح لجن، تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه نداشت (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاربرد سطوح ۲۰ و ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب، طول ریشه به‌ترتیب ۳۰/۳ و ۵۹/۱ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۱). تأثیر مثبت کاربرد لجن فاضلاب بر افزایش طول ریشه می‌تواند به‌دلیل بالا بودن ماده آلی لجن فاضلاب و همچنین نقش مثبت آن در افزایش غلظت برخی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و منیزیم و بهبود شرایط فیزیکی خاک از طریق افزایش پایداری خاکدانه‌ها و آب قابل استفاده گیاه باشد (۱۲). کومار و چوپرا (۲۰) نیز گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد بادمجان

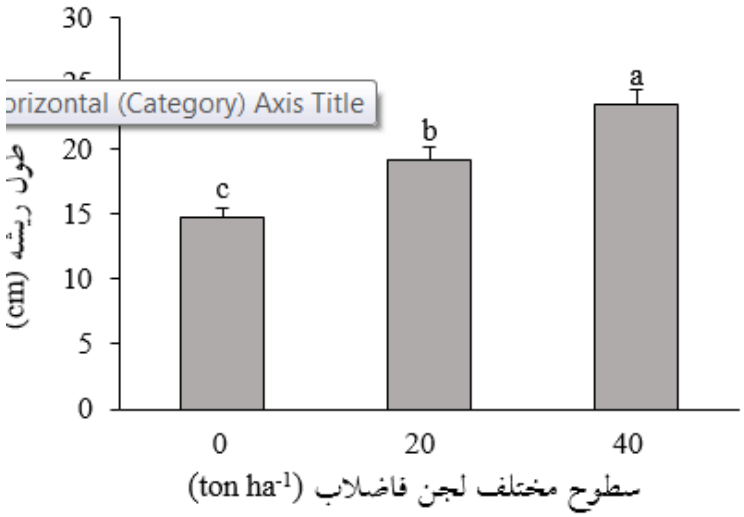
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر ویژگی‌های مورفولوژیکی سه ژنوتیپ کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول ریشه	طول شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره
ژنوتیپ	۲	۱۷/۱	۷/۸۱	۰/۱۱۸**	۱/۱۰
سطح لجن	۲	۱۶۹***	۴۶۱***	۰/۰۸۶**	۸/۵۲**
ژنوتیپ × سطح لجن	۴	۴/۱۵	۲۸/۲	۰/۰۵۹*	۲/۸۵
خطای آزمایش	۱۸	۹/۱۱	۱۱/۱۵	۰/۰۱۴	۱/۲۲

*، ** و *** به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد آزمون دانکن است.



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر طول ریشه کینوا

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.)

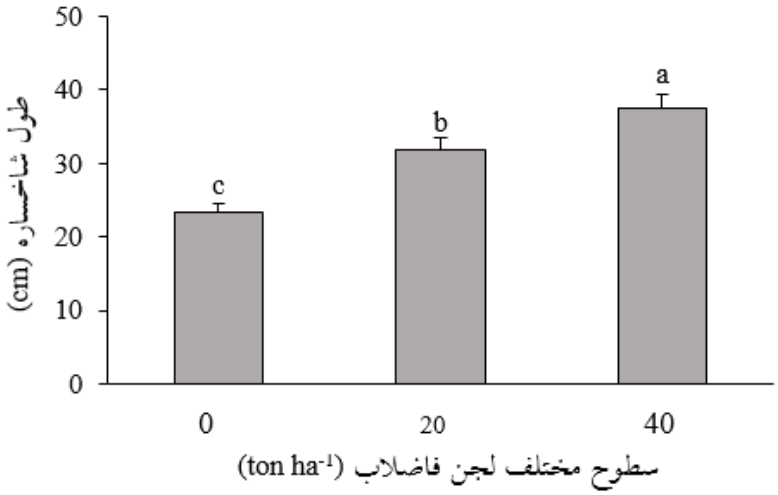
شد و حداکثر طول ریشه گیاه مربوط به تیمار ۵۰ درصد لجن فاضلاب بود.

طول شاخساره

تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر طول شاخساره کینوا در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود، اما نوع ژنوتیپ کینوا و اثر متقابل آن با سطح لجن فاضلاب، تأثیر معنی‌داری بر طول شاخساره نداشتند (جدول ۳). با کاربرد سطوح ۲۰ و ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب، طول شاخساره کینوا به‌ترتیب ۳۶/۶ و ۶۰/۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۲). این امر می‌تواند به‌علت بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک ناشی از افزودن لجن فاضلاب به خاک باشد. نتایج جدول ۱ نیز نشان می‌دهد که لجن فاضلاب حاوی مقادیر زیادی عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن و فسفر بوده و از این طریق باعث افزایش رشد رویشی گیاه می‌شود. جمیل و همکاران (۱۶) با بررسی تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب شامل ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ تن در هکتار، بر رشد و عملکرد گندم مشاهده کردند که بیشترین طول سنبله در تیمار ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب حاصل شد. همچنین بر اساس مطالعات آنجین و یاقان‌اقلو (۴)، تأثیر مثبت کاربرد لجن فاضلاب بر افزایش ارتفاع گیاه، طول سنبله و عملکرد جو گزارش شده است.

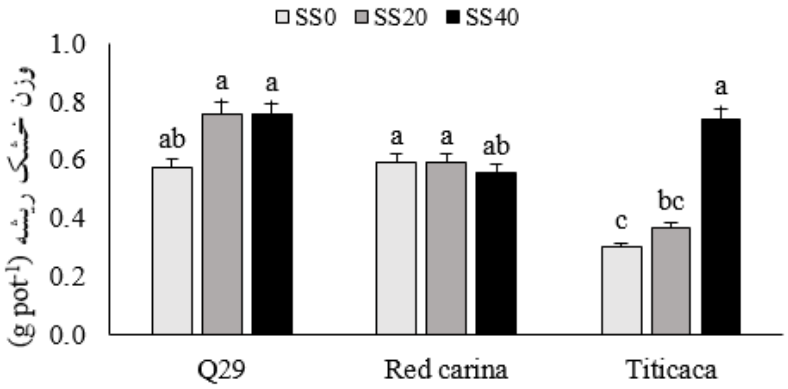
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر طول شاخساره کینوا

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.)



شکل ۳. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب (SS) بر وزن خشک ریشه سه ژنوتیپ کینوا

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن هستند.)

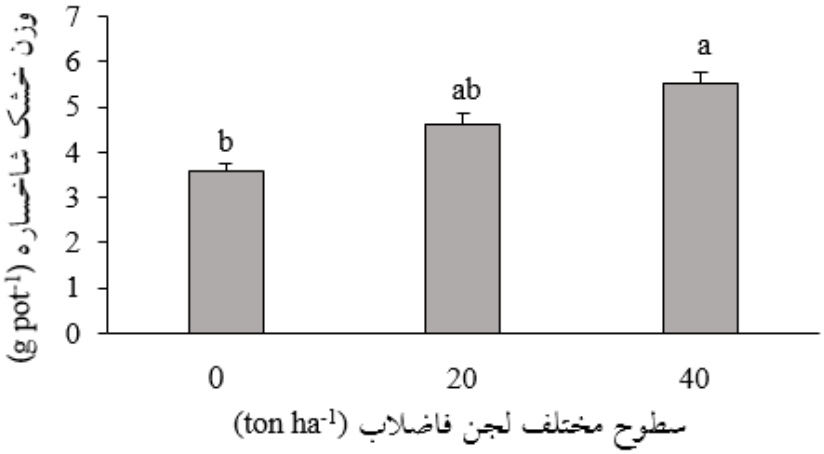
وزن خشک ریشه

بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر ژنوتیپ کینوا و سطوح مختلف لجن فاضلاب در سطح یک درصد و اثر متقابل آنها در سطح پنج درصد، بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه ژنوتیپ Q29 و Red carina نداشت، اما در ژنوتیپ Titicaca، وزن خشک ریشه گیاهان تیمار شده با سطح ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب، ۱۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۳).

کاربرد لجن فاضلاب در خاک، از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی و درنتیجه افزایش سرعت فتوسنتز و به‌دنبال آن افزایش مواد فتوسنتزی و انتقال آنها به ریشه‌ها، باعث افزایش رشد و توسعه ریشه می‌شود (۸). پژوهشگران علت افزایش وزن خشک ریشه گیاه با کاربرد لجن فاضلاب را به افزایش تقسیم سلولی ارتباط دادند (۳). آنتولین و همکاران (۵)، مشاهده کردند کاربرد لجن فاضلاب در شرایط کمبود آب، موجب افزایش سرعت فتوسنتز گیاه یونجه نسبت به تیمار بدون لجن فاضلاب شد. این پژوهشگران بیان داشتند که لجن

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک شاخساره کینوا

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است.)

فاضلاب با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به رشد و توسعه ریشه کمک می‌کند.

وزن خشک شاخساره

تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک شاخساره کینوا در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما نوع ژنوتیپ کینوا و اثر متقابل تیمارها، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک شاخساره نداشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که وزن خشک شاخساره گیاهان تیمار شده با سطح ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب، ۵۴/۳ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود، اما سطح ۲۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک شاخساره کینوا نداشت (شکل ۴). بوستانی و رونقی (۹) در پژوهشی دریافتند کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه اسفناج شد که دلیل اصلی افزایش عملکرد اسفناج با کاربرد لجن فاضلاب را وجود مقادیر به‌نسبت زیاد مواد آلی و عناصر غذایی ضروری در لجن فاضلاب بیان کردند. همچنین کرمی و همکاران (۱۷) با بررسی تأثیر سه سطح لجن فاضلاب (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) بر رشد گندم نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی گندم شد.

غلظت کلروفیل

تأثیر نوع ژنوتیپ کینوا بر غلظت کلروفیل کل در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). سطوح مختلف لجن فاضلاب نیز، تأثیر معنی‌داری بر غلظت کل در سطح ۰/۱ درصد داشت. همچنین اثر متقابل نوع ژنوتیپ کینوا و سطوح لجن فاضلاب بر غلظت کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

تأثیر لجن فاضلاب بر غلظت کلروفیل، بسته به نوع ژنوتیپ کینوا متفاوت بود (شکل ۵). در ژنوتیپ Q29 با کاربرد سطوح ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب، غلظت کلروفیل کل به‌ترتیب ۶۳/۸ و ۱۱۵/۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۵). در ژنوتیپ Red carina کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد، تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل کل نداشت. در ژنوتیپ Titicaca نیز، غلظت کلروفیل کل در گیاهان تیمار شده با سطح ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب، در مقایسه با سطوح صفر و ۲۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب به‌ترتیب ۶۴/۱ و ۷۱/۶ درصد بیشتر بود.

افزایش غلظت کلروفیل در برگ کینوا با کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند به‌علت افزایش غلظت عناصر غذایی در خاک

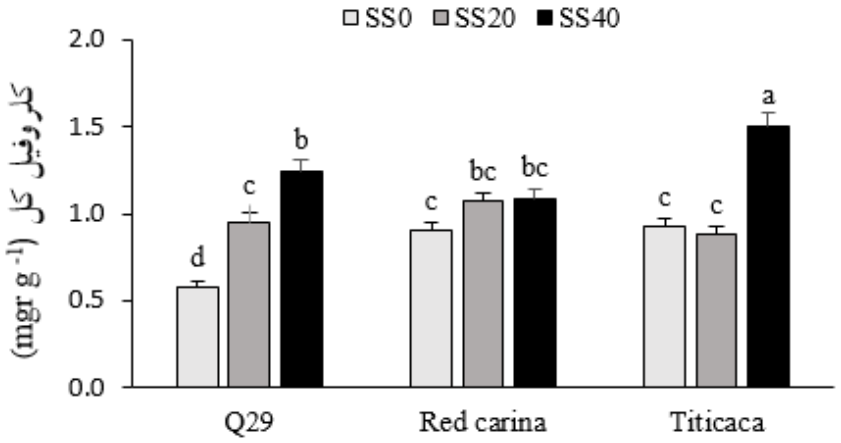
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت کلروفیل، نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره سه ژنوتیپ کینوا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل کل	غلظت نیتروژن	غلظت فسفر	غلظت پتاسیم
ژنوتیپ	۲	۰/۰۷*	۱/۸۸	۰/۰۴۱**	۱/۱۷*
سطح لجن	۲	۰/۵۳۱***	۱۹/۶***	۰/۱۰۱***	۰/۷۱۳
ژنوتیپ × سطح لجن	۴	۰/۱۰۱**	۲/۴۳	۰/۰۴۹***	۰/۷۷۸
خطای آزمایش	۱۸	۰/۰۱۸	۱/۹۴	۰/۰۰۵	۰/۲۹۷

*، ** و *** به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد آزمون دانکن است.



شکل ۵. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب (SS) بر غلظت کلروفیل کل در سه ژنوتیپ کینوا

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است.)

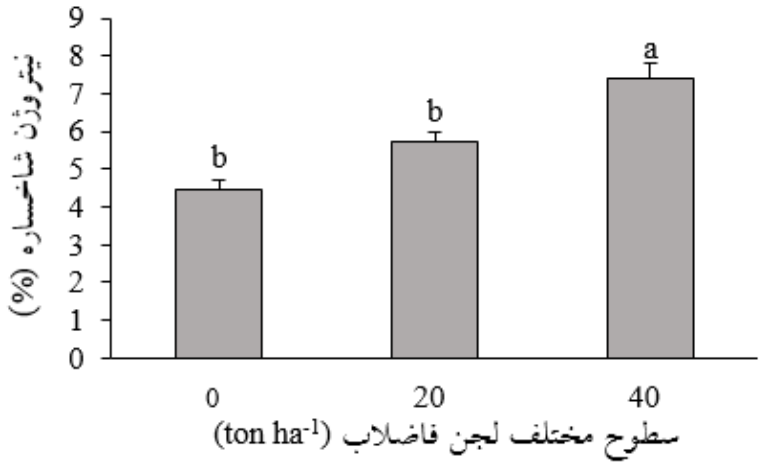
به‌ویژه نیتروژن بر اثر مصرف این کود باشد که در طول دوره رشد گیاه آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (۲۲). پژوهشگران متعددی اثر مثبت لجن فاضلاب بر افزایش رشد و میزان فتوسنتز در گیاهان را گزارش کرده‌اند (۵). همچنین، لجن فاضلاب از طریق افزایش غلظت منیزیم در خاک، به‌عنوان عنصر مهم در ساختار کلروفیل، باعث افزایش غلظت کلروفیل در گیاه می‌شود (۲۵).

غلظت نیتروژن شاخساره

تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت نیتروژن شاخساره کینوا در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود، اما نوع ژنوتیپ کینوا و اثر متقابل تیمارها، تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن شاخساره نداشتند (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین غلظت نیتروژن شاخساره در گیاهان تیمار شده با سطح ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب مشاهده شد که به‌ترتیب ۶۵/۵ و ۲۹/۸ درصد بیشتر از غلظت نیتروژن شاخساره در گیاهان تیمار شده با سطوح صفر و ۲۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب بود (شکل ۶). رویگ و همکاران (۲۷) در یک آزمایش مزرعه‌ای روی خاک لوم رسی زیر کشت گندم مشاهده کردند که در اثر کاربرد ۱۶ ساله لجن فاضلاب در مقادیر ۴۰ و ۸۰ تن در هکتار، درصد ماده آلی و نیتروژن خاک با افزایش مقدار لجن فاضلاب، افزایش یافت. همچنین، تأثیر مثبت لجن فاضلاب بر افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک و غلظت نیتروژن در گیاه ذرت گزارش شده است (۲۸).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت نیتروژن شاخساره

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است.)

غلظت فسفر شاخساره

تأثیر نوع ژنوتیپ کینوا بر غلظت فسفر شاخساره در سطح یک درصد و تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب و اثر متقابل تیمارها بر غلظت فسفر، در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ژنوتیپ Q29 وTiticaca ، غلظت فسفر شاخساره کینوا در سطح ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب، به‌ترتیب ۷۱/۵ و ۴۰/۱ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۷). علت احتمالی افزایش غلظت فسفر شاخساره را می‌توان به مقدار زیاد فسفر موجود در لجن فاضلاب و همچنین کربن آلی و اسیدهای آلی موجود در این ترکیب نسبت داد. میزان حلالیت فسفات با حضور اسیدهای آلی مثل مالات، سیترات و اگزالات بسته به نوع خاک و غلظت اسیدهای آلی، بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ واحد افزایش یابد (۲۴). از طرفی اسیدهای آلی حاصل از لجن فاضلاب به‌صورت تبادل لیگاندی جذب سطحی شده و برای محل‌هایی که جذب صورت می‌گیرد با فسفر رقابت می‌کنند که درنهایت منجر به افزایش قابلیت استفاده فسفات می‌شود. همچنین ترکیب دی‌اکسید کربن تولید شده از تجزیه مواد آلی با آب، تولید اسید کربنیک می‌کند و این اسید در خاک‌های آهکی حلالیت ترکیبات فسفره را افزایش می‌دهد و بدین ترتیب جذب آنها بهبود می‌یابد (۱۹). پژوهشگران بیان داشتند که لجن فاضلاب از طریق بهبود جذب فسفر باعث افزایش عمق نفوذ ریشه و تسهیل جذب آب از اعماق خاک شده و درنتیجه رشد و عملکرد گیاه بهبود می‌یابد (۲۳). نتایج پژوهشی نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب به مقدار۴۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار فسفر قابل استفاده خاک زیر کشت گندم شد (۲۱).

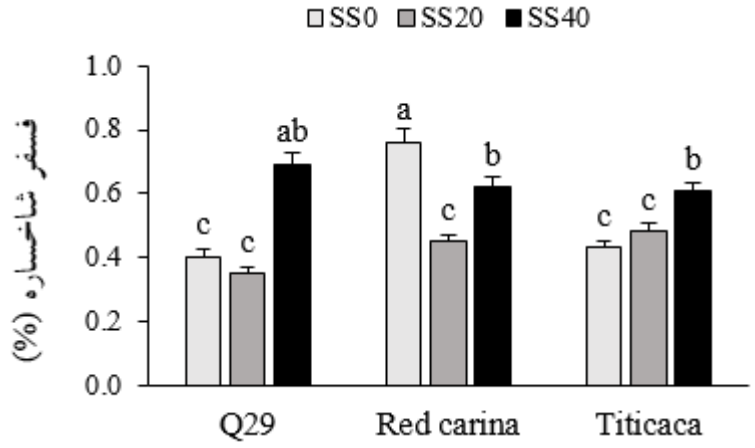
نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در ژنوتیپ Red carina، کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد، باعث کاهش ۲۹/۵ درصدی غلظت فسفر شاخساره شد که این امر می‌تواند به‌دلیل افزایش عملکرد گیاه و ایجاد اثر رقت باشد (شکل ۷). نتایج مقایسه میانگین جذب فسفر نیز نشان داد که مقدار جذب این عنصر در گیاهان تیمار شده با سطح ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب، به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۸).

غلظت پتاسیم شاخساره

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر نوع ژنوتیپ کینوا بر غلظت پتاسیم شاخساره در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین غلظت پتاسیم شاخساره در ژنوتیپ

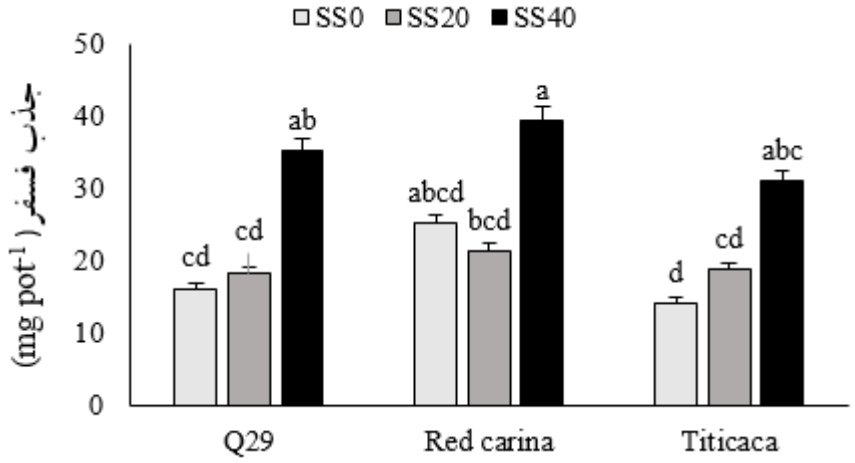
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب (SS) بر غلظت فسفر شاخساره

(میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است.)



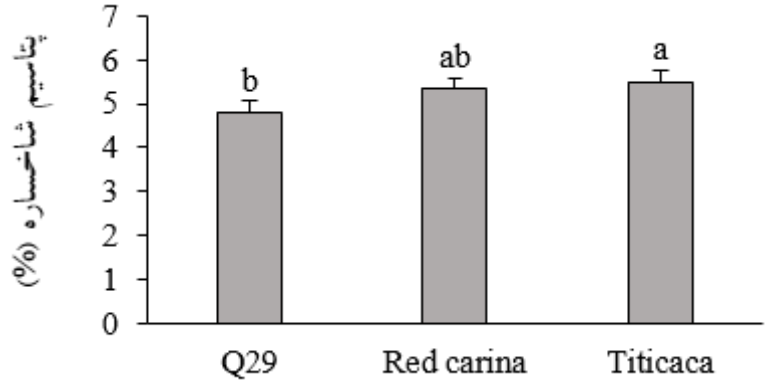
شکل ۸. تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب (SS) بر جذب فسفر شاخساره

(میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است.)

Titicaca مشاهده شد که از این نظر اختلاف معنی‌داری با ژنوتیپ Red carina نداشت (شکل ۹). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سطوح مختلف لجن فاضلاب، تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم شاخساره کینوا نداشتند (جدول ۴). این نتیجه را می‌توان به مقدار کم پتاسیم لجن فاضلاب در مقایسه با مقدار نیتروژن و فسفر ارتباط داد (جدول ۱). دلیل اصلی این پدیده احتمالاً حلالیت بالای املاح پتاسیم است که پس از جدا شدن از فاضلاب، پتاسیم به صورت محلول در پساب باقی مانده و درنتیجه لجن از پتاسیم فقیر می‌شود. البته نتایج برخی مطالعات حاکی از تأثیر مثبت لجن فاضلاب بر غلظت پتاسیم خاک و گیاه است که با نتایج مطالعه حاضر مغایرت دارد. در این ارتباط، قمری و دانش (۱۴) با بررسی تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر ویژگی‌های خاک مشاهده کردند که لجن فاضلاب موجب افزایش مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک شد. همچنین نتایج پژوهش رضانژاد و افیونی (۲۶) نشان داد کاربرد ۵۰ تن لجن فاضلاب در هکتار موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در ذرت شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. مقایسه غلظت پتاسیم شاخساره سه ژنوتیپ کینوا

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن است.)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که افزایش سطح لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه، طول شاخساره، وزن خشک شاخساره و غلظت نیتروژن شاخساره کینوا شد. همچنین، با کاربرد ۴۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب وزن خشک ریشه، غلظت کلروفیل و غلظت فسفر شاخساره ژنوتیپ‌های Titicaca و Q29 به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. اگرچه نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب به‌ویژه سطح ۴۰ تن بر هکتار، تأثیر مطلوبی بر رشد و تغذیه گیاه کینوا دارد، اما استفاده مکرر از لجن فاضلاب ممکن است سبب تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه شود، بنابراین لازم است قبل از کاربرد لجن فاضلاب، غلظت فلزات سنگین موجود در آن تعیین و مورد ارزیابی قرار گیرد. غلظت عناصر موجود در لجن فاضلاب به نوع فاضلاب (خانگی یا صنعتی) و همچنین مراحل تصفیه فاضلاب بستگی دارد. لذا، توصیه می‌شود راه‌های ورود فلزات سنگین به فاضلاب و لجن فاضلاب بررسی شود تا با کاهش ورود این فلزات، ارزش کودی لجن فاضلاب افزایش یابد.

منابع مورد استفاده

1. Abedi, M. J., S. Nairizi, N. Ebrahimi Birang, M. Maherani, H. Khaledi, N. Mehrdadi and A. M. Cheraghi. 2002. Saline Water Utilization in Sustainable Agriculture. *Journal of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage* 69: 224.
2. Adolf, V. I., S. Shabala, M. N. Andersen, F. Razzaghi and S. E. Jacobsen. 2012. Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Journal of Plant and Soil* 357(1-2): 117-129.
3. Amin, A. W., F. K. Sherif, H. El-Atar and H. Ez-Eldin. 2009. Effect of residual and accumulative sewage sludge on heavy metals bioaccumulation: Gene action and some yield parameters of *Vicia faba*. *Research Journal of Environmental Toxicology* 3: 60-75.
4. Angin, I. and V. Yaganoglu. 2011. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. *Journal of Agricultural Science Technology* 13: 757-768.
5. Antolin, M. C., I. Muro and M. Sanchez-Diaz. 2010. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. *Journal of Environmental and Experimental Botany* 68(1): 75-82.
6. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in Beta vulgaris. *Journal of Plant Physiology* 24: 1-24.
7. Bagheri, M. 2018. Quinoa Cultivation. Seed and Plant Improvement Institue, Tehran, Iran.

www.SID.ir

8. Barakah, F. N., S. H. Salem and A. M. Heggo. 1996. Effect of sewage sludge on nodulation and N2 -fixation in alfalfa grown on calcareous loamy soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 159(3): 289-296.
9. Boostani, H. R. and A. Ronaghi. 2011. Comparison of sewage sludge and chemical fertilizer application on yield and concentration of some nutrients in spinach (*Spinosa olerace* L.) in three textural classes of a calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 2(2): 65-74.
10. Chakraborty, U., S. Roy, A. P. Chakraborty, P. Dey and B. Chakraborty. 2011. Plant growth promotion and amelioration of salinity stress in crop plants by a salt-tolerant bacterium. *Journal of Recent Research in Science and Technology* 3: 61-70.
11. Clapp, C. E., A. J. Palazzo, W. E. Larson, G. C. Marten and D. R. Linden. 1978. Uptake of nutrients by plants irrigated with municipal wastewater effluent. PP. 395-404. *In*: State of Knowledge in Land Treatment of Wastewater. Army Crops of Engineers, Hanover, N.H.
12. Fathololomi, S., S. H. Asghari and E. Goli Kalanpal. 2015. Effects of municipal sewage sludge on the concentration of macronutrients in soil and plant and some agronomic traits of wheat. *Journal of Soil Management and Sustainable* 5(2): 49-70.
13. Flowers, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experiment Botany* 55(396): 307-319.
14. Ghamari, N. and S. H. Danesh. 2007. Effects of Sewage Sludge Application and Leaching on Soil Chemical Properties, Yield and Quality of Barley. *Journal of Agricultural Engineering Research* 8(3): 65-80.
15. Jacobsen, S. E., F. Liu and C. R. Jensen. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.). *Journal of Scientia Horticulturae* 122(2): 281-287.
16. Jamil, M., M. Qasim, M. Umar and K. Rehman. 2004. Impact of organic wastes (sewage sludge) on the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a calcareous soil. Inter. *Journal of Agricultural Biology* 3: 465-467.
17. Karami, M., Y. Rezainejad, M. Afyuni and H. Shariatmadari. 2007. Cumulative and residual effects of sewage sludge on lead and cadmium concentration in soil and wheat. *Journal of Water and Soil Science* 11(1): 79-95.
18. Khanmohammadi, Z., A. H. Khoshgoftarmanesh and A. R. Melali. 2011. Methods of Plant Analysis. Jahad Daneshgahy of IUT. Isfahan.
19. Khorshid, M., A. Hosseinpur and S. Oustan. 2009. Impacts of sewage sludge on phosphorus sorption characteristics and its availability in some calcareous soils. *Journal of Water and Soil Science* 12(46): 791-802.
20. Kumar, V. and A. K. Chopra. 2016. Agronomical performance of high yielding cultivar of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in sewage sludge amended soil. *Journal of Research in Agriculture* 1(1): 1-24.
21. Latare, A. M., O. Kumar, S. K. Singh and A. Gupta. 2014. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice–wheat system. *Journal of Ecology Engeering* 69: 17-24.
22. Mahmoudi, S., N. Najafi and A. Reyhanitabar. 2015. Effect of soil moisture and sewage-sludge compost on some soil chemical properties and alfalfa forage macronutrients concentrations in greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 6(2): 37-55.
23. Malakouti, M. J and M. M. Tehrani. 2005. Role of Microelements on Yield and Quality of Agricultural Productions. Tarbiat Modares Publication, Tehran, Iran.
24. Malakouti, M. J., Z. Khougar and Z. Khademi. 2004. Innovative Approach to Balanced Nutrition of Wheat: A Complication of Papers. Agronomy Department. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Sana Publication Compony, Tehran, Iran.
25. Marschner, P. 2012. Marschner Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Ed., Elesevier Ltd.
26. Rezaenejad, Y. and M. Afyuni. 2001. Effect of Organic Matter on Soil Chemical Properties and Corn Yield and Elemental Uptake. *Journal of Water and Soil Science* 4(4) :19-29.
27. Roig, N., J. Sierra, E. Mart, E. Nadal, M. Schuhmacher and J. L. Domingo. 2012. Longterm amendment of Spanish soils with sewage sludge: effects on soil functioning. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment* 158: 41-48.
28. Saadat. K., M. Barani Motlagh, E. Dordipour and A. Ghasemnezhad. 2012. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. *Journal of Soil Management and Sustainable* 2(2): 27-48.
29. US Environmental Protection Agency ("USEPA 503"). 2002. Federal Water Pollution Control Act ("Clean Water Act"), 33 USC.
30. Yang, A., S. S. Akhtar, S. Iqbal, Z. Qi, G. Alandia and M. S. Saddiq and S. E. Jacobsen. 2018. Saponin seed priming improves salt tolerance in quinoa. *Journal of Agronomy and Crop Science* 204(1): 31-39.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 4, Winter 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Sewage Sudge on the Growth and some Nutrient Elements of Three Quinoa Genotypes in a Calcareous and Saline Soil

F. Afzalinejad[1], S. Ghasemi[1]*, S. E. Seyfati[2] and Sh. Shahbazi[1]

(Received: October 28-2019; Accepted: July 05-2020)

Abstract

Today, the use of organic wastes as fertilizers to improve the physical, chemical and biological properties of soil is common. In this study, to investigate the effect of the sewage sludge on the growth and concentration of chlorophyll, nitrogen, phosphorus and potassium in quinoa plant, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications in a calcareous soil with electrical conductivity of 13.1 dS m^{-1}. Treatments included three genotypes of quinoa (Red carina, Titicaca, Q29) and three levels of sewage sludge (0, 20 and 40 t ha^{-1}). The results showed that the effects of the quinoa genotype, different levels of sewage sludge and the interaction of treatments on the root dry weight, shoot P concentration and chlorophyll concentration were significant. Also, the sewage sludge had a significant effect on the shoot length, shoot dry weight and shoot nitrogen concentration. By increasing the level of the sewage sludge, root length, shoot length, shoot dry weight and shoot N concentration were increased, on average, by 44.7 %, 48.8%, 42.0% and 46.6%, respectively. Also, application of 40 t ha^{-1} sewage sludge significantly increased the chlorophyll concentration and shoot P concentration in Q29 and Titicaca genotypes. According to the results of this study, application of sewage sludge can increase the growth of quinoa by improving its nutrition.

Keywords: Sewage sludge, Q29, Titicaca, Red carina, Macro nutrients

1. Department of Soil Science, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
Corresponding author, Email: s.ghasemi@yazd.ac.ir

www.SID.ir